

# Lógica Fuzzy aplicada ao gerenciamento de carga em banco de baterias

Tiago Nazaré<sup>1</sup>, Giovane Quadrelli<sup>2</sup>, Bruno Schulze<sup>3</sup>, Nélpio Pizzolato<sup>4</sup>, Renato Portugal<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Estudante do Mestrado Profissional em Gestão de Sistemas de Engenharia, UCP, Brasil

<sup>2</sup> Professor Titular Centro de Engenharia e Computação, UCP, Brasil

*Resumo: O propósito deste artigo é a elaboração de um sistema de fuzzy aplicado ao gerenciamento de carga em banco de baterias em função das condições climáticas. Aborda os principais conceitos sobre lógica fuzzy como conjuntos, regras de interferência, processo de fuzzificação e defuzzificação. Por fim utilizou-se o software Matlab 2015 para construir um modelo de controle para banco de baterias. Este sistema recebe as entradas iniciais de Temperatura e as condições atuais do banco de baterias e define qual a melhor utilização para o sistema. Seguindo um especialista da área foram criadas as regras nebulosas e inseridas no Matlab, criando-se assim um modelo fuzzy que indica período de autonomia do sistema.*

*Palavras-chave: Fuzzy; Matlab; Energia; Mamdani; Baterias*

## I INTRODUÇÃO

Segundo o relatório Global Tracking Framework (2013) [9] do Banco Mundial em parceria com o Conselho Mundial de Energia, a falta de energia elétrica atinge cerca de 1,2 bilhões de pessoas em todo o mundo. A pesquisa destaca os 10 países com os piores índices. O primeiro é a Índia com 306,2 milhões. O segundo é a Nigéria com 82.4 milhões. O terceiro é Bangladesh com 66.6 milhões. O quarto é Etiópia com 63.9 milhões. O quinto é Congo com 55.9 milhões. O sexto é Tanzânia com 38.2 milhões. O sétimo é Quênia com 31,2 milhões. O oitavo é Sudão com 30.9 milhões. O nono é Uganda com 28.5 milhões. O décimo é Mianmar com 24.6 milhões.

Segundo a UNESCO (2016) [17] cerca de 1,5 milhões de pessoas são mortas pelo uso de querosene em lâmpadas no Continente Africano.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2016) [13] mais de 190 mil famílias brasileiras vivem sem energia, grande parte na zona rural. Foram instalados mais de 3 mil sistemas fotovoltaicos no Nordeste, seja para garantir energia em escolas e postos de saúde ou para fornecer energia para bombas d'água em regiões de seca. Nos últimos anos no Brasil, o governo tem feito grandes esforços nesta área, o programa "Luz para Todos" criado pelo Governo Federal é um dos principais pilares para erradicar este problema do Brasil. O programa atendeu 15,6 milhões de pessoas segundo o Ministério de Minas e Energia.

O objetivo do presente artigo é criar um modelo fuzzy visando controlar e melhorar o desempenho de um sistema de energia fotovoltaica armazenada em banco de baterias.

## II METODOLOGIA

Seguindo a sistemática proposta por Henderson (2017) [10] para o desenvolvimento de um controlador fuzzy, a etapa inicial é a fuzzificação das variáveis de entrada e a defuzzificação da saída, utilizando conjuntos fuzzy. Neste artigo optou-se por utilizar funções de pertinência triangulares devido a sua facilidade de geração e precisão nos resultados, além de estar disponível na maioria das ferramentas matemáticas computacionais. Foi consultado um especialista no intuito de definir regras nebulosas. A Fig.1 demonstra o modelo fuzzy implementado no Software Matlab 2015.

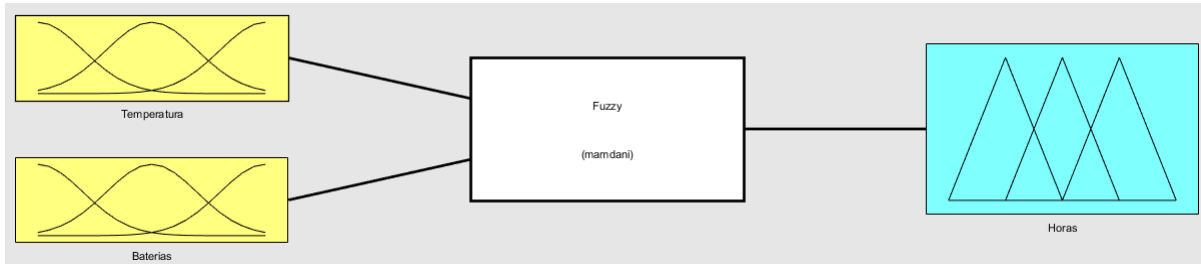


Fig.1. Modelo Fuzzy.

Os blocos em amarelo representam as entradas que são: Temperatura apresenta as seguintes variações: Alta (de 20°C a 40°C), Média (de 13°C a 23°C) e Baixa (de 0°C a 15°C). Bateria apresenta os estados: Descarregada (0V a 6V), Carga Média (5V a 9V) e Carregada (8V a 12V). O bloco em cor branca representa o método de inferência, neste modelo será adotado o método Mamdani por apresentar um modelo mais compatível com a decisão humana. E por fim, o bloco azul Horas que representa a saída do sistema, por quanto tempo o sistema permanecerá em funcionamento, Normal (14H a 24H), Restrito (3H a 18H) e Não Usar (0H a 4H).

Foi consultado um especialista em Energia Fotovoltaica ou Energia Solar que resultou nas seguintes regras:

- Se a Temperatura for Baixa (de 0°C a 15°C) e Baterias igual a Descarregada (0V a 6V) o sistema apontará para não utilização.
- Se a Temperatura for Baixa (de 0°C a 15°C) e Baterias igual a Carga Média (5V a 9V) o sistema apontará para utilização restrita (de 3H a 18H)
- Se a Temperatura for Baixa (de 0°C a 15°C) e Baterias igual a Carregada (8V a 12V) o sistema apontará para utilização restrita (de 3H a 18H)
- Se a Temperatura for Média (de 13°C a 23°C) e Baterias igual a Carregada (8V a 12V) o sistema apontará para utilização Normal.
- Se a Temperatura for Média (de 13°C a 23°C) e Baterias igual a Carga Média (5V a 9V) o sistema apontará para utilização restrita (de 3H a 18H)
- Se a Temperatura for Média (de 13°C a 23°C) e Baterias igual a Descarregada (0V a 6V) o sistema apontará para utilização restrita (de 3H a 18H)
- Se a Temperatura for Alta (de 20°C a 40°C) e Baterias igual a Carregada (8V a 12V) o sistema apontará para utilização Normal.
- Se a Temperatura for Alta (de 20°C a 40°C) e Baterias igual a Carga Média (8V a 12V) o sistema apontará para utilização Normal.
- Se a Temperatura for Alta (de 20°C a 40°C) e Baterias igual a Descarregada (8V a 12V) o sistema apontará para utilização Restrita (de 3H a 18H).

Justifica-se a utilização do *software* Matlab 2015 *toolbox* fuzzy para implementar o modelo, pois segundo Arruda et al. (2013) [2] no artigo intitulado Análise Comparativa de Ferramentas Computacionais Para Modelagem de Lógica Fuzzy publicado no Simpósio de Excelência em Gestão de Tecnologia (2017) verificou-se que os resultados comparativos entre 18 *softwares*, o Matlab teve uma excelente avaliação.

### III SETOR ELÉTRICO MUNDIAL

Segundo Battaglini et al. (2009) [3] no passado como havia abundância de recursos e preços atrativos, ocasionando com que o sistema energético mundial tivesse grande parte de sua energia gerada por fontes fósseis, gerando assim uma dependência dessas fontes. Mas desde o advento da crise no ano de 1970, esse quadro mudou devido ao crescimento econômico e assim gerando uma tendência de aumento da demanda energética. Isto provocou uma mudança na matriz energética mundial. Houve um aumento considerável no preço do petróleo, chegando a 800% de aumento. Esse fato chamou a atenção sobre a vulnerabilidade e instabilidade quanto ao fornecimento de petróleo por parte dos principais países produtores: Rússia, Argélia e África do Sul.

Segundo Bermann (2012) [4] apesar de todo esforço para o crescimento das energias renováveis esse avanço ainda é lento e pouco significativo diante da energia gerada através dos combustíveis fósseis (aqui considerando também a energia nuclear, gerada a partir do urânio). De uma produção de 20,5 trilhões de KWh

somente 19,5% corresponde a energia que provem de fontes renováveis, incluindo a hidroeletricidade, os outros 80,5% foram gerados por combustíveis fósseis. Ainda segundo o autor, apesar de reconhecida a necessidade de se investir em fontes de energia renovável, esses incentivos não superaram às fontes de combustíveis fósseis no período de 2007 a 2010. Dados confirmados pela World Energy Outlook 2011 na Fig. 2, comparando os incentivos a combustíveis fósseis com os incentivos à fontes renováveis.

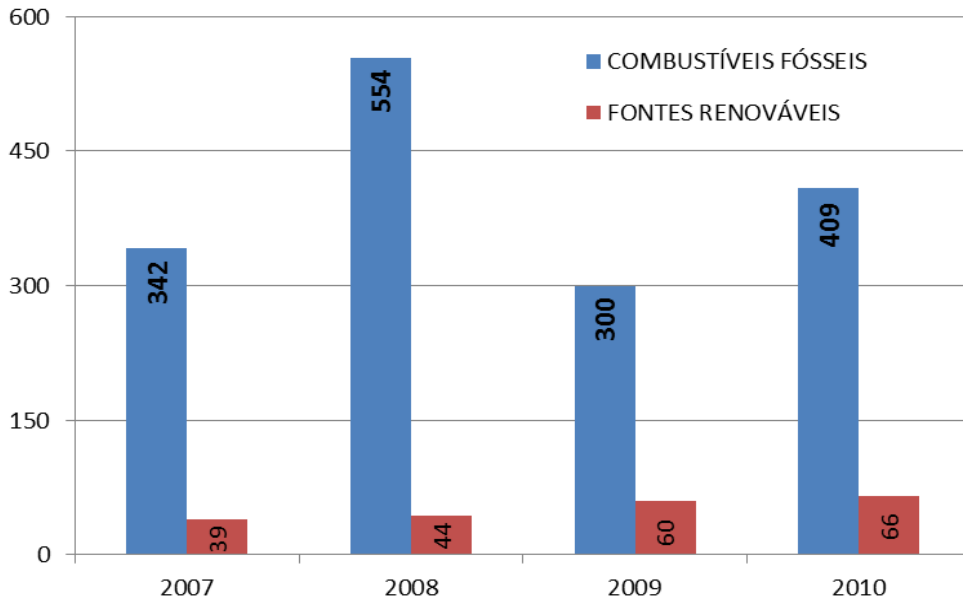


Fig.2. Subsídios ao consumo de energia no mundo (em US\$ Bilhões). Fonte: Desenvolvido pelo próprio autor. Adaptado da (WEO, 2011) [6]

Segundo a World Energy Outlook (2011) [18] os subsídios aos combustíveis fósseis são frequentemente utilizados para promover o desenvolvimento econômico e amenizar a pobreza, mas provaram ser ineficientes no cumprimento destes objetivos. Isso tem causado distorções de mercado que incentivam o consumo exagerado que pode e tem levado a consequências negativas.

### Um Panorama do Setor Elétrico Brasileiro

De acordo com o Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE, 2011) [6] um país torna-se competitivo e consegue desenvolver-se quando administra corretamente o fornecimento, a continuidade, o suprimento, a qualidade e a confiabilidade da energia elétrica. Para tanto, fez-se necessário no passado, transformar empresas de caráter privado em estatais federais. Exemplos claros dessas mudanças foram: a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf) e algumas estatais estaduais como a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig). Essas empresas foram severamente afetadas por decisões políticas, o que impactava diretamente na produtividade. Em 1993 instala-se uma crise no Setor Elétrico, onde o governo opta por repassar para as tarifas de energia um aumento de 70% na busca de tentar minimizar uma dívida adquirida de suas estatais. Crise instalada, riscos de falta de energia, consequência de falta de investimentos no setor. Nos anos de 1995 e 1996 o setor inicia um processo de privatização das distribuidoras de energia elétrica, leiloando algumas das principais: Escelsa (ES) e Light (RJ).

Segundo Schettino (2014) [16] no Brasil, historicamente, os investimentos em grandes empreendimentos de infraestrutura ocorrem de maneira reativa, ao invés de serem proativos ao surgimento da demanda.

Segundo MME (2015) [13] em sua Resenha Energética Brasileira referente ao exercício de 2014, na Fig. 3 nota-se a predominância da potência Hidráulica atingindo 68% incluindo os valores de importação. As fontes de energia renováveis chegam a somar aproximadamente 80%, sendo que a média mundial é de 20%.

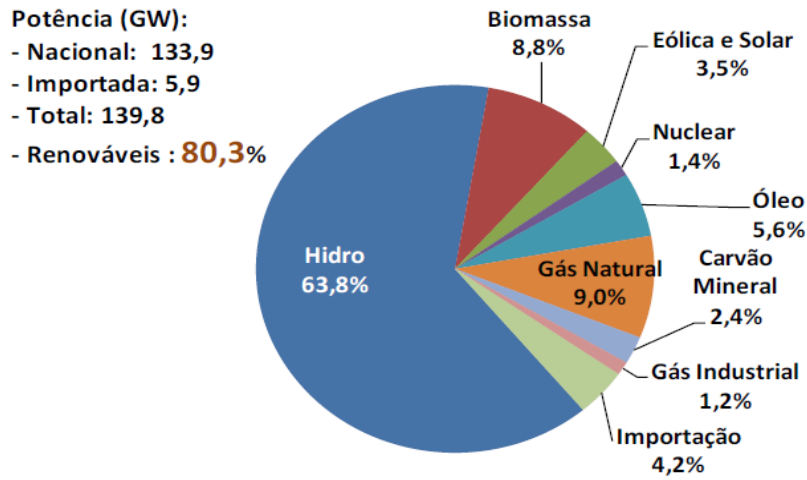


Fig.3. Oferta de Potência de Geração Elétrica – 2014(%). Fonte: Ministério de Minas e Energia – Resenha Energética Brasileira (2015) [13]

### Energia Solar

De acordo com a CCEE(2016) [7]a energia solar:

“é aquela obtida pela luz do Sol que poder captada com painéis solares. É uma fonte de vida e de origem da maioria das outras formas de energia na Terra. Sua irradiação na superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo mundial de energia. Essa radiação, porém não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre. Dependem da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar” (2016)

Segundo ANEEL (2016) [1] em seu Banco de Informações de Geração (BIG) a representação da energia solar ainda é desprezível quando comparada a toda energia gerada no Brasil que totaliza 142.990.295 KW de potência instalada com 4.513 empreendimentos em ação. Atualmente existem no Brasil 39 usinas de energia solar em operação,com uma capacidade de geração em torno de 26.952 KW o que representa 0,02 da geração total do país. Existe uma previsão de instalação de setenta (70) usinas solares, ainda não iniciadas,com previsão de potência de 1.966.777 KW que representarão 10,97% da geração prevista para novos investimentos,que será de aproximadamente 17.935.768 KW como visto no Fig. 4 pela evolução da energia solar.

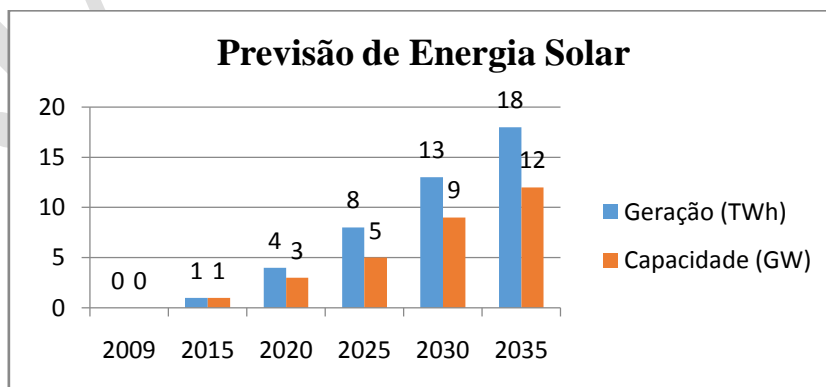


Fig.4. Previsão de Geração Solar. Fonte: Próprio autor. Adaptado da IEA – World Energy Outlook (2011) [18]

Observa-se uma previsão realizada pela IEA (2011) referente as expectativas para crescimento de geração e capacidade instalada da energia gerada por fonte solar. Para que se confirme essa previsão fazem-se necessários investimentos na ordem de aproximadamente 2 bilhões de dólares, em infraestrutura, equipamentos, tecnologias etc.

### Energia Solar Utilizando Banco de Baterias

Segundo Lamberts et al. (2010)[11] sistemas que recebem a energia solar e a depositam em bancos de baterias são classificados como sistemas isolados. Seu principal benefício é armazenar a energia e fornecer em períodos onde não haja radiação solar. Estes sistemas geralmente possuem os seguintes componentes: Placas fotovoltaicas, controlador de carga, banco de baterias e inversor.

## IV LÓGICA FUZZY

Segundo Farias, Quadrelli e Silva (2016) [8] a Lógica Fuzzy é uma modelagem não linear que incorpora tanto o conhecimento objetivo quanto o conhecimento subjetivo em uma linguagem matemática. Permite a solução de forma mais simples e com menores custos computacionais, de sistemas complexos que utilizam técnicas clássicas para serem resolvidos. Nos sistemas lógicos tradicionais (verdadeiro ou falso) os elementos pertencem ou não a um dado conjunto. Na Lógica Fuzzy os elementos podem pertencer a dois ou mais conjuntos utilizando a chamada função de pertinência. Esta função mapeia a variável linguística (tais como “Clima” e “Baterias” e “Ação”) para um valor normalizado entre 0 e 1.

### Conjuntos Fuzzy

Segundo Marro et al. (2010)[12] na lógica clássica os modelos de pertencimento (ou pertinência) são bem definidos; se pertencer a um conjunto, deve pertencer somente a um. A Lógica Fuzzy trata a tomada de decisão mais humana, onde, por exemplo, duas pessoas com alturas diferentes podem ter certo grau de pertinência diferente a dois conjuntos, variando entre 0 e 1. O conjunto nebuloso é a base de toda a Lógica Fuzzy.

Um modelo fuzzy gerado pelo software Matlab 2015 é possível identificar as duas variáveis de entrada (Temperatura e Baterias), o conjunto de regras representado pelo bloco branco (Fuzzy) e pela saída do sistema representado pelo bloco azul (Horas). O Controlador Fuzzy é composto por funções de pertinência, que fazem parte sua base de dados, e por implicações que compõem sua base de regras. As funções de entrada estão descritas nas Fig 5 e 6.

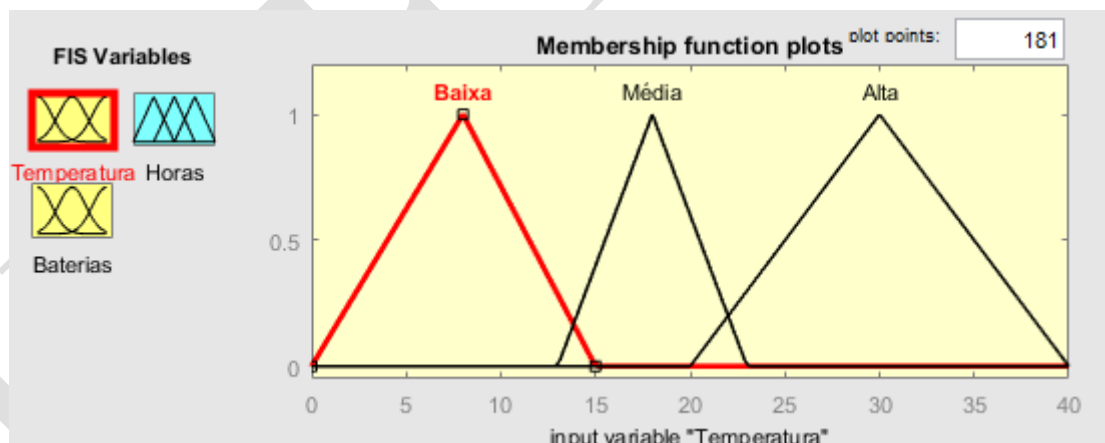


Fig.5. Variável de entrada Temperatura

A Fig. 2 descreve as variáveis de entrada referente a Temperatura, suas funções são: Alta (de 20°C a 40°C), Média (de 13°C a 23°C) e Baixa (de 0°C a 15°C).

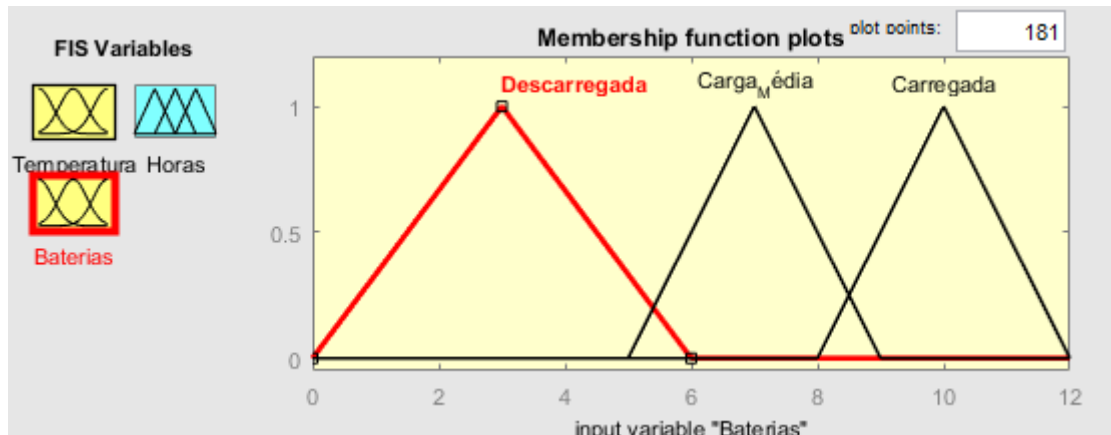


Fig.6. Variável de entrada Baterias

A Fig. 3 descreve as variáveis de entrada referente a Baterias, sua função são definidas por: Descarregada (0V a 6V), Carga Média (5V a 9V) e Carregada (8V a 12V).

### Representação de Conjuntos Fuzzy

Segundo Farias, Quadrelli e Silva (2016) [8] inicialmente deve-se escolher a função de pertinência dependendo do problema a ser modelado ou da capacidade computacional disponível. Funções não lineares são mais eficientes para problemas mais complexos, porém seu custo computacional é muito maior que funções lineares.

Sendo o universo curto ou contínuo, a aplicação de uma função será uma tarefa mais simples. Um exemplo seria a separação de pessoas por altura conforme Tabela 1.

Tabela 1. Exemplo de conjunto fuzzy

Grau de pertinência	<i>alto</i>			<i>médio</i>			<i>baixo</i>		
	$x = 165$	$x = 175$	$x = 185$	$x = 145$	$x = 160$	$x = 175$	$x = 140$	$x = 150$	$x = 160$
$\mu(x)$	0	0.5	1	0	1	0	1	0.5	1

Fonte: Marro et.al (2010)

O Grau de pertinência de cada elemento é analisado em relação a sua altura em centímetros. Um elemento com altura inferior a 165 cm não pode ser considerado nem pouco alto, assim como um elemento de altura superior a 160 cm não é baixo. Existem muitas opções para escolher a função de pertinência, dessa forma é indicada a consulta de um especialista na área.

### Regras Fuzzy

Segundo Lamberts et al. (2010) [11] os conjuntos fuzzy são operados por regras, para criar tais regras é necessário um pensamento lógico com o que se deseja obter. É necessária a divisão em duas etapas: Avaliação do antecedente da regra e Aplicação do resultado. Uma pessoa com altura de 1,70 m, primeiramente é preciso definir o grau de pertinência de entrada, ou seja, saber a qual conjunto vai pertencer. A Fig.7 descreve as regras do modelo.



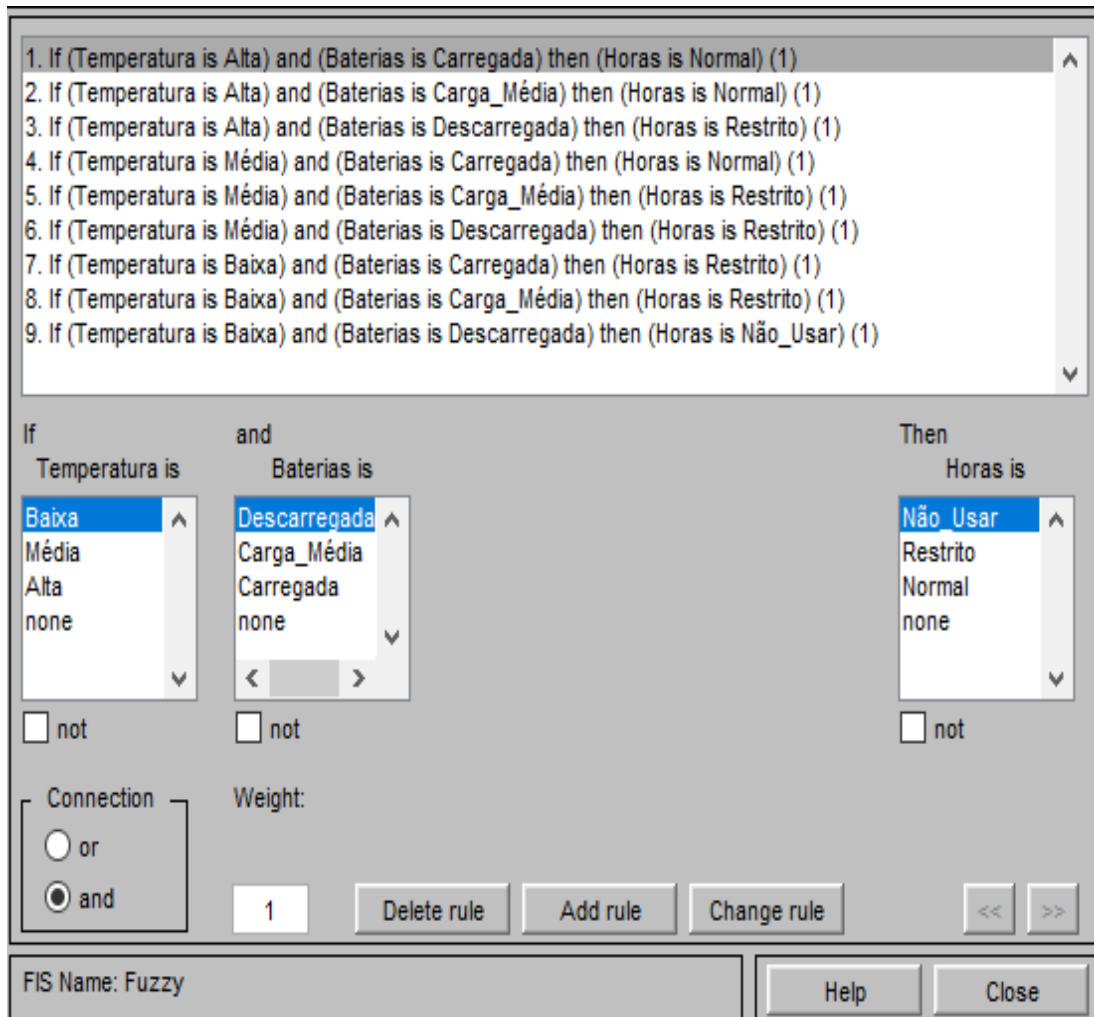


Fig.7. Regras do modelo

Para a construção de cada regra, define-se a conexão entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída, utilizando os operadores lógicos. Após a inserção das regras tem-se a formação do controle fuzzy. As regras foram construídas seguindo a indicação do referencial bibliográfico de Marro que indica a consulta de um especialista, conforme descrito na metodologia deste artigo.

### Inferência Fuzzy

Segundo Marro et al. (2010) [12] é o processo de avaliar as entradas com o intuito de selecionar as entradas por meio de regras. Este processo pode ser realizado por meio dos modelos de inferência como, por exemplo, inferência fuzzy (difusa): Estilo Mamdani, baseado no conceito criado pelo professor EbrahimMamdani em 1975, que consiste em representar experiências da vida real.

### Fuzzificação

Segundo Farias, Quadrelli e Silva (2016) [8] é utilizada para obter o grau de pertinência de cada entrada em cada conjunto. Através dos conhecimentos de um especialista as variáveis de entrada foram limitadas no universo discurso em função do grau de pertinência de cada conjunto conforme Fig.8.

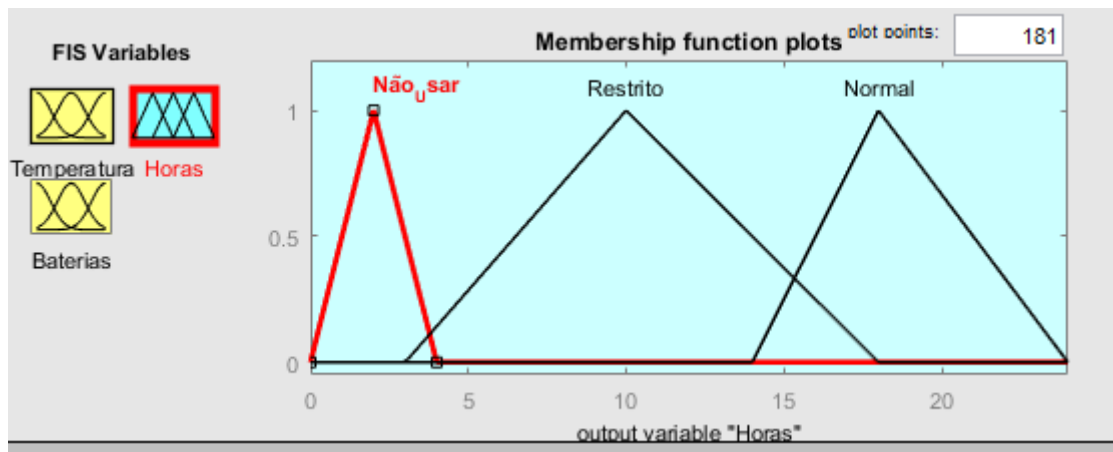


Fig.8. Variável Decisão do sistema (Horas)

A Fig.8 ilustra a saída do sistema que é definida pelo bloco Horas. Neste bloco são 3 ações: Normal (14H a 24H), Restrito (3H a 18H) e Não Usar (0H a 4H).

#### Defuzzificação

Segundo Marro et al. (2010) [12] é responsável por atribuir número as saída fuzzy. Este número será traduzido em tomadas de decisões como, por exemplo, comprar ou não comprar e com que grau. Esta fase é denominada de máquina de inferência fuzzy e segue os seguintes princípios: Fatos antecedentes, grau de compatibilidade com as regras; precisão das regras e agregação conforme Fig.9.

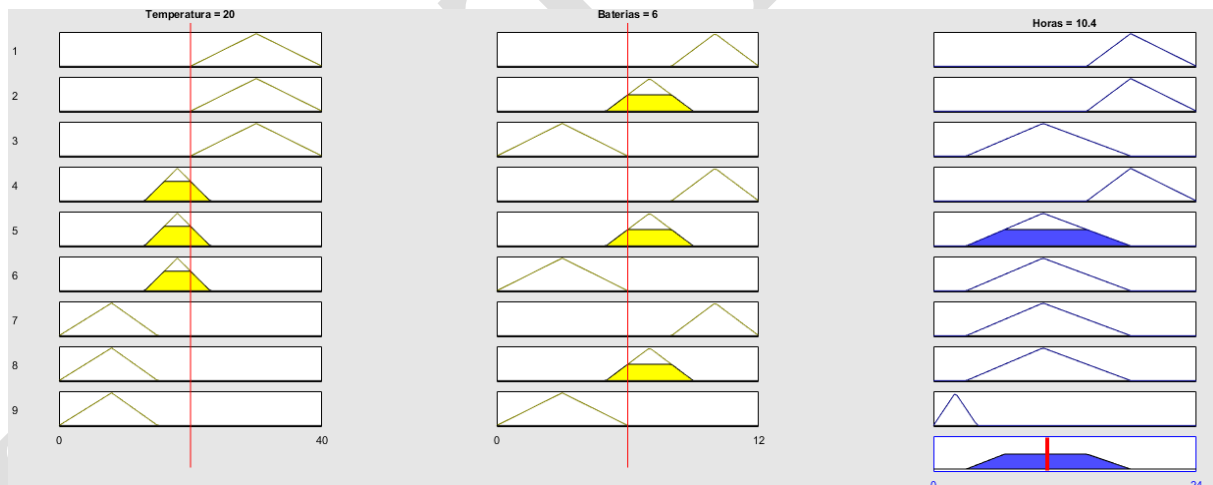


Fig.9. Saída do sistema fuzzy

A Fig.9 descreve a saída do sistema baseada nas entradas e em suas regras de inferência. A entrada Temperatura registra 20°C e entrada Baterias registra 6V, aplicando-se as regras o sistema indica 10.4 H de utilização. O toolbox é descrita de forma interativa, arrastando-se a linha vermelha das entradas é possível simular as condições iniciais, o sistema aplica as regras e resulta na parte ação o modelo simulado de forma automática.

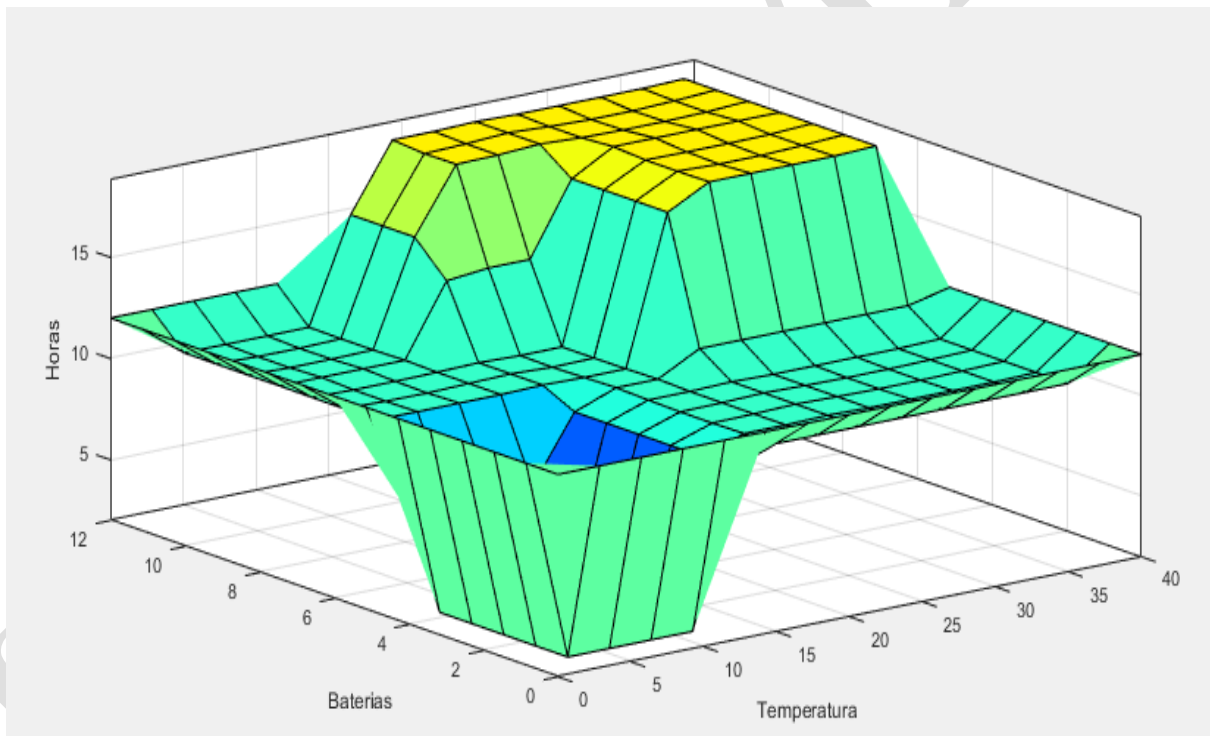


## V APLICAÇÃO DO SOFTWARE MATLAB EM LÓGICA FUZZY

Segundo Pedrycz e Gomide (1998) [14] o Matlab é um *software* de computação científica que permite a interação entre usuário e máquina através de uma interface de comandos. Os comandos são fornecidos pelos usuários para que o sistema efetue seus cálculos. O Matlab possui um toolbox fuzzy permitindo o rápido acesso a funções definidas aplicadas ao uso de teoria dos conjuntos fuzzy. Existem diferentes métodos de inferência com diferentes propriedades, o *toolbox* fuzzy do matlab aborda o método de Mamdani e o Método de Sugeno devido a sua eficiência em condizer com questões humanas.

## VI RESULTADOS

Os resultados obtidos têm por finalidade avaliar do desempenho do controlador nebuloso proposto. Seguindo o modelo de Mamdani e controlador fuzzy deve possuir seu comportamento mais próximo de um controlador humano. Deste modo, a lógica fuzzy demonstrou-se eficiente na elaboração do modelo. O *toolbox* fuzzy permite duas formas de verificação: o *Surface* e o *RuleViewer*. Com o *surface* é possível verificar todas as relações existentes entre a entrada e a saída por meio de uma superfície que relaciona as variáveis de entrada com as variáveis de saída conforme Fig.10.



**Fig.10.** Modo de Visualização *Surface*

É possível observar as variáveis de entrada (Temperatura e Bateria) percorrendo respectivamente os seus universos de discurso, e o valor da variável de saída (Horas), que é calculado de acordo com a entrada.

O *RuleViewer* é possível selecionar valores reais para as entradas e verificar como o controlador fuzzy responde para cada valor inserido e qual regra previamente inserida irá ser acionada, além do valor numérico final obtido na defuzzificação. Foram realizadas duas simulações conforme Fig.11 e 12

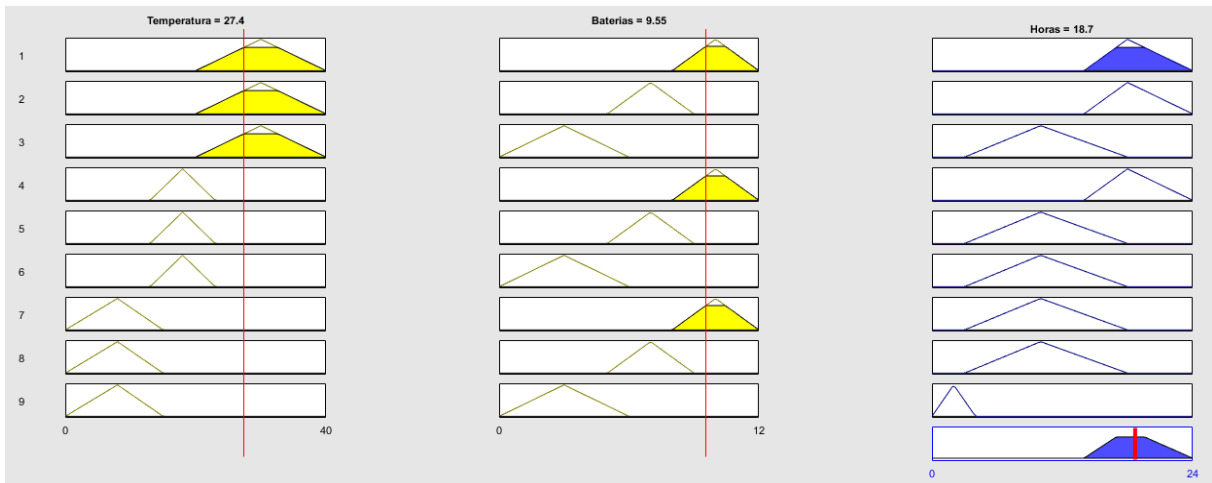


Fig.11. Modo de Visualização RuleViewer

Nesta primeira simulação foi inserida a Temperatura igual a 27.4°C e Bateria igual a 9.55 Volts, neste cenário a saída do sistema resultou em 18.7 Horas. Foram acionadas as regras de Temperatura Alta (20°C a 40°C) e Bateria Carregada (8V a 12V), acionando a regra número 1 com funcionamento Normal (14H a 24H).

Foi realizada uma nova simulação com valores menores, conforme Fig.12.

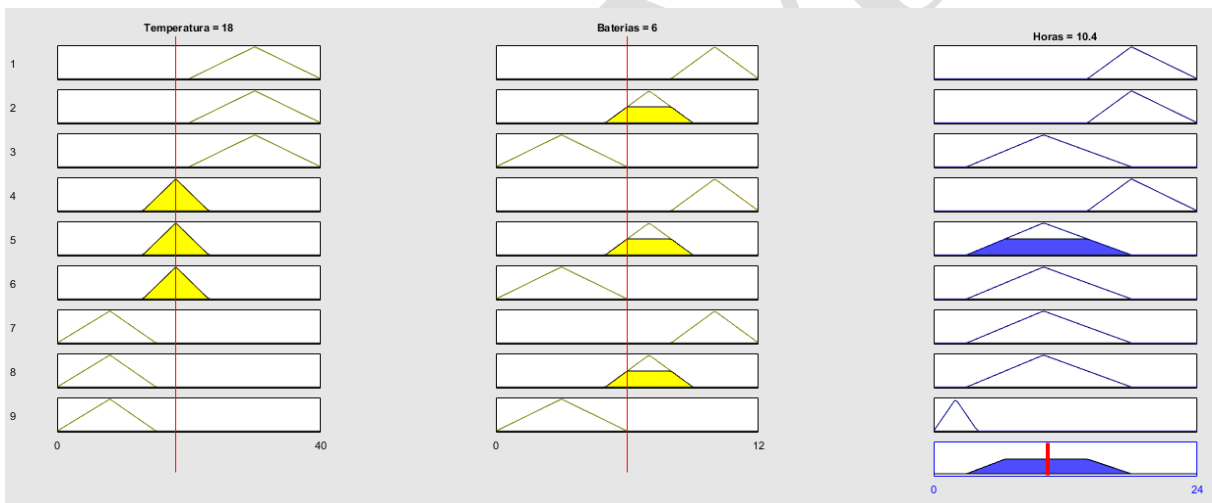


Fig.12. Modo de Visualização RuleViewer

Nesta segunda simulação foi inserida a Temperatura igual a 18°C e Bateria igual a 6 Volts, neste cenário a saída do sistema resultou em 10.4 Horas. Foram acionadas as regras de Temperatura Média (13°C a 23°C) e Bateria Carga Média (5V a 9V), acionando a regra número 5 com funcionamento Restrito de (3H a 18H).

## VII CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cerca de 1,2 bilhões de pessoas vivem sem energia elétrica em todo o mundo. A energia solar com armazenamento em banco de baterias é uma tecnologia alternativa para diminuir este problema. O presente artigo teve por objetivo construir um modelo fuzzy utilizando o software Matlab2015.

Os conceitos de lógica fuzzy permitiram identificar e implementar um sistema de controle, utilizando-se de um especialista para criar as regras de controle. A grande vantagem do sistema está na possibilidade de manipular e modelar matematicamente informações imprecisas, naturais da linguagem humana e informações

precisas fornecidas por especialistas. O modelo pode ser criado a partir da junção das variáveis selecionadas para modelar o problema proposto, adicionando as regras de inferência.

O toolboxfuzzy do Matlab 2015 proporcionou a criação de um modelo fuzzy de forma interativa e rápida. É preciso definir as variáveis e entrada com seus respectivos conjuntos de pertinência, definir as regras baseadas nos conhecimentos de um especialista e imprimir suas ações de saída. Foram realizadas duas simulações que demonstrou a eficiência do modelo proposto. Na primeira simulação as entradas foram Temperatura igual a 27.4°C e Bateria igual a 9.55 Volts, neste cenário a saída do sistema resultou em 18.7 Horas acionando a regra 1. Na segunda simulação foi inserida a Temperatura igual a 18°C e Bateria igual a 6 Volts, neste cenário a saída do sistema resultou em 10.4 Horas acionando a regra 5.

## Referências

- [1] ANEEL: **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 20 Março de 2017.
- [2] ARRUDA, D; ABUD, G; PONTES, F; PONTES, R; OLIVEIRA, B; **Análise comparativa de ferramentas computacionais para modelagem de lógicafuzzy**. Disponível em:<<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/39418400.pdf>>. Acesso em 01 de Junho de 2017
- [3] BATTAGLINI, A; LILLIESTAM, J; HAAS, A; PATT, A. **Development of SuperSmart Grids for a more efficient utilization of electricity from renewable sources**. JournalofCleanerProduction v.37, 20015.
- [4] BERMANN, C; SILVA, M; FERNANDES, T; **O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios**. Brasília, DF: Rios Internacionais, 2012
- [5] CASTILLO, O; MELIN, P. **Type-2 Fuzzy Logic: Theory and applications**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [6] CBIE: **Centro Brasileiro de Infra Estrutura**. Disponível em: <<http://www.cbie.com.br/arquivos/Relat%C3%B3rio%20Sistema%20Hidrot%C3%A9rico.pdf>>. Acesso em: 22 Abril de 2017
- [7] CCEE: **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/setor\\_eletrico?\\_adf.ctrlstate=k3arh5feu\\_33&\\_afLoop=1351796912924276](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_adf.ctrlstate=k3arh5feu_33&_afLoop=1351796912924276)>. Acesso em: 10 Maio de 2017.
- [8] FARIAS, R; QUADRELLI, G; SILVA, C; **lógica nebulosa aplicada ao gerenciamento de inventário - minimizando incertezas de demanda e suprimento**. Disponível em <[http://www.inovarse.org/sites/default/files/T16\\_160.pdf](http://www.inovarse.org/sites/default/files/T16_160.pdf)>. Acesso em 23 de Maio de 2017.
- [9] Global Tracking Framework. **Relatório**. Estados Unidos 2013. Versão 3. Impresso.
- [10] HENDERSEN, H. **Encyclopedia of Computer Science and Technology**. Disponível em:<<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/39418400.pdf>>. Acesso em 29 de Maio de 2017.
- [11] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, R. **Eficiência energética na arquitetura. 2. Ed.** Ver. São Paulo: Prolivros, 2010.
- [12] MARRO, A; SOUZA, C; CAVALCANTE, S; BEZERRA, S; NUNES, O. **Lógica Fuzzy: Conceitos e Aplicações**. Disponível em:<[https://sistemas.riopomba.ifsudestemg.edu.br/dcc/materiais/1904687018\\_L%C3%B3gica%20Fuzzy%20-%20Intelig%C3%Aancia%20Artificial.pdf](https://sistemas.riopomba.ifsudestemg.edu.br/dcc/materiais/1904687018_L%C3%B3gica%20Fuzzy%20-%20Intelig%C3%Aancia%20Artificial.pdf)>. Acesso em 12 de Março de 2017.
- [13] MME; **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>>. Acesso em: 16 Abril de 2017.
- [14] PEDRYCZ, W; GOMIDE, F. **Na IntroductiontoFuzzy Sets: Analysisand Design**. Disponível em: <[http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32652606/texto\\_fuzzy.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53\[\[15\]UL3A&Expires=1496858821&Signature=HbhDoIEhOezCoLZJl%2FrnA15HW0s%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTexto\\_fuzzy.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32652606/texto_fuzzy.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53[[15]UL3A&Expires=1496858821&Signature=HbhDoIEhOezCoLZJl%2FrnA15HW0s%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTexto_fuzzy.pdf)>. Acesso em 12 de Maio de 2017.
- [16] SCHETTINO, S. **Smart Grid: tendência de sua implantação no Brasil**. Curitiba: Appris, 2014. 17 p
- [17] UNESCO, 2016. Disponível em <<http://unesdoc.unesco.org/Relats/086291por.pdf>>. Acesso 10 de Maio de 2017.
- [18] WEO – **World Energy Outlook**. Disponível em <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2011\\_WEB.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2011_WEB.pdf)>. Acesso em: 22 Abril de 2017.